

# GEOMORFOLOGICZNE PODEJŚCIE DO REKTYFIKACJI HISTORYCZNYCH MAP W PROGRAMIE *ERDAS IMAGE*

MAŁGORZATA PIETRZAK

## 1. Wstęp

R.A. Skeleton (1977) pisał, że treść zawarta na mapach sprawia, że nabierają one rangi dokumentów historycznych z uwagi na informacje, których żaden inny rodzaj dokumentów nie może dać tak skutecznie. Na podstawie map można z dużą precyzją charakteryzować warunki geograficzne ostatnich 200 lat, i stąd wnioskować o związkach gospodarki człowieka ze środowiskiem przyrodniczym. Historyczne mapy to niezwykle cenne źródło informacji o przemianach struktury użytkowania ziemi, stosowane do charakterystryki zmian zalesienia, do określania przemian stosunków wodnych a zwłaszcza zmian geometrii koryt rzecznych, do wyznaczania zasięgu osadnictwa i układów dróg, do charakterystryki zasobów krajobrazów o przetrwałych walorach kulturowych, oceny stanu środowiska obszarów seminaturalnych. J. Plit (1990) zwraca uwagę na trudności techniczne wstępnego przetworzenia historycznych map, co w konsekwencji powoduje niedostateczne wykorzystanie archiwaliów kartograficznych. Coraz powszechniejsze stosowanie specjalistycznych programów GIS stworzyło nowe możliwości przygotowania starych map do analizy. Procedura rektyfikacji wykorzystywana w GIS do korekcji geometrycznej zdjęcia lotniczego lub satelitarnego może być z dobrym rezultatem użyta do ujednolicenia układu współrzędnych skanowanych materiałów kartograficznych (Widacki 1997, Pietrzak, Siwek 2001). Techniczne potraktowanie tego pierwszego etapu prac jest niewystarczające, a geomorfologiczne podejście do wstępnego przetworzenia map pozwala, już na etapie przygotowawczym, na merytoryczną korektę map archiwalnych.

## 2. Cel i zakres opracowania

Celem pracy było wykonanie i ocena geometrycznej korekcy historycznych map przy zastosowaniu *ERDAS IMAGINE*, z wykorzystaniem informacji o głównych elementach rzeźby oraz o formach i obiektach antropogenicznych. W niniejszej pracy użyto fragmenty mapy *Karte des Konigsreichs Galizien und Lodomerien*, wykonanej w skali 1:28 800, pochodzącej z pierwszego wojskowego zdjęcia Galicji (*Josephinische Aufnahme*) wykonanego prawie w całości w latach 1779-1783. Ponadto wykorzystano fragmenty mapy *Oryginalaufnahme von Galizien und Bukowina* w skali 1:28 800, pochodzącej z drugiego wojskowego zdjęcia Galicji (*Franzsiszeische Aufnahme*) wykonanego w latach 1828-1831, 1838-1842, 1861-1863. Oryginalne zdjęcia rękopiśmienne i opracowane na ich podstawie mapy drukowane, opisy geograficzne terenów kartowanych wraz z instrukcjami znajdują się w Archiwum Wojennym w Wiedniu. W ramach projektu badawczego pod tytułem *Związek osadnictwa z rzeźbą terenu w Polskich Karpatach* (3 P04E 030 25) finansowanego ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2003-2005 sprowadzono 256 kolorowych klisz negatywowych z Wiednia, pokrywających obszar Karpat w granicach Polski. Klisze były skanowane z rozdzielczością 6400 x 4500 pikseli (obraz oryginału 54 cm x 38 cm) w rozdzielczości 300 dpi (tif, 82 MB) w Laboratorium Fotografii Profesjonalnej w Warszawie.

## 3. Metodyka pracy i dyskusja wyników badań

Historyczne mapy cechują się brakiem układu odwzorowania i dużym zniekształceniem kształtów, kątów i skali w różnych częściach mapy, za to dużą dokładnością prezentowanych elementów w sensie treści informacyjnej. Dzięki geometrycznej korekcy takiego zobrazowania, powstały obraz nabiera cech mapy zachowującej zgodność z innymi mapami. Proces ten, zwany **rektyfikacją**, polega na przeniesieniu danych z jednego układu współrzędnych do innego układu z wykorzystaniem wielomianów  $n$ -tego stopnia (Erdas Field Guide 1998). W uproszczeniu można to określić jako dopasowanie jednego obrazu do drugiego. Jeżeli podczas transformacji nie wykorzystywane są współrzędne kartograficzne to procedura ta nosi nazwę **rejestracji**. Natomiast procedura pozwalająca korygować zobrazowania terenów górzystych na podstawie numerycznego modelu wysokości nosi nazwę **ortorektyfikacji**. W prezentowanej pracy układem współrzędnych do którego sprowadzono wszystkie historyczne mapy był tzw. Układ 1992, dla którego istnieją współczesne cyfrowe mapy topograficzne w skali 1:50 000. Główną przyczyną, dla której mapy historyczne winne być poddane rektyfikacji, należy tworzenie map w określonej skali celem porównywania zobrazowań, pozyskiwania dokładnych pomiarów odległości i powierzchni, przeprowadzania analiz wymagających precyzyjnej lokalizacji geograficznej, tworzenia baz danych do analiz przestrzennych.

Zarówno rejestracja, jak i rektyfikacja wymagają wykonania następujących czynności:

- lokalizacji terenowych punktów kontrolnych
- obliczenia i testowania macierzy transformacji
- utworzenia pliku z informacjami o nowych współrzędnych

## Lokalizacja terenowych punktów kontrolnych

Terenowe punkty kontrolne (**Ground Control Points** – GCP's) to ściśle wyznaczone piksele o znanych dwóch parach współrzędnych X, Y:

- współrzędne źródłowe czyli współrzędne mapy poddawanej transformacji
- współrzędne odniesienia czyli współrzędne mapy do której zobrazowanie źródłowe jest transformowane

Dokładne punkty GCP zapewniają uzyskanie dobrych wyników transformacji, dlatego tak ważnym jest ich odpowiedni liczba, dobór i rozmieszczenie. Minimalna liczba punktów wymagana do transformacji stopnia  $n$  wynosi:  $[(n+1)(n+2)]/2$ . Pomimo, że do transformacji 1-go stopnia minimalna wymagana liczba punktów GCP wynosi 3, a do transformacji 2-go stopnia wynosi 6, zazwyczaj stosuje się zasadę, że większa liczba punktów GCP daje lepsze rezultaty, oraz możliwość eliminacji źle zlokalizowanych GCP. Jako punkty kontrolne wykorzystywane są miejsca charakterystyczne, łatwe do zlokalizowania na archiwalnych i współczesnych mapach. W przypadku analizy materiałów historycznych dobór punktów kontrolnych bywa często trudny, co jest spowodowane zmianami przebiegu dróg, granic lasów, rzek (Pietrzak, Siwek 2001). Pewną trudnością jest również wyznaczenie punktów kontrolnych na najstarszych, mało dokładnych mapach, jak również na mapach o dużych sygnaturach. Na austriackich mapach Galicji jako punkty GCP można przyjmować obiekty punktowe czyli zamki, klasztory, kościoły, cmentarze, ratusze, rynki w miastach, dwory, folwarki, przysiółki, zagrody, szopy, mosty, młyny, tamy, cegielnie, kuźnie, kamieniołomy, browary, karczmy, spichlerze, owczarnie, pasieki, bazantarnie, szałas, chutory, gajówki, domy myśliwskie, wyspy, brody, figury przydrożne, skrzyżowania i wyraźne załomy w przebiegu obiektów liniowych takich jak potoki, rzeki, drogi: konne, lokalne, krajowe, żerdziowe, w wąwozie, ścieżki, szosy, gościńce, linie kolejowe, granice administracyjne, aleje drzew, oraz znacznie rzadziej granice i załomy obiektów powierzchniowych czyli lasów, łąk, parków, ogrodów, sadów, winnic, bagien, terenów podmokłych, stawów. W praktyce okazuje się jednak, że wiele z tych pozornie „dobrych,” punktów ma zmianę lokalizacji wpisaną w egzystencję. Takim często popełnianym błędem jest traktowanie jako punktów stałych mostów, brodów czy ujść rzek. W trakcie badań rektyfikowano mapę w oparciu o obiekty antropogeniczne i okazało się, że pewne z nich miały tak duży błąd RMS (powyżej 100 m), że zostały odrzucone jako punkty GCP. Okazuje się, że skuteczną metodą wyboru punktów jest śledzenie przebiegu starych dróg na mapach często widocznych jako głębokie rozcięcia na granicy działek własnościowych. Ponadto, dokonano rektyfikacji mapy w oparciu o wybrane elementy rzeźby terenu. Główne elementy rzeźby terenu są obiektami, które nie podlegały przemianom w okresie historycznym. Rysunek rzeźby terenu na analizowanych mapach jest wykonany w rzucie poziomym metodą szrafy krzyżowej (pierwsze zdjęcie) oraz zmodyfikowaną szrafą Lehmana (drugie zdjęcie), co bardzo plastycznie oddaje przebieg pasm górskich, linii grzbietowych, wierzchołków, wierzchowin, spłaszczeń, nachyleń stoków, przełęczy, podcięć zboczy, kotlin, dolin, teras rzecznych, wcięć, ostańców i wydmy. Wysokości określono w sążniach wiedeńskich, odnosząc je do poziomu Adriatyku w Trieście. Wzniesienia wraz ze szczytami, przełęcze oraz rozgałęzienia grzbietów, mogą stanowić dobre miejsca na wybór punktów GCP. Dla każdego arkusza archiwalnej mapy wybierano od 20 do 50 punktów GCP rozłożonych równomiernie,

z tego zwykle 5% odrzucano z uwagi na zbyt duży błąd RMS. Po wykonaniu rektyfikacji okazało się, że podobnie jak w przypadku obiektów antropogenicznych pewne punkty użyte do transformacji należało odrzucić z uwagi na zbyt duży błąd RMS. Należy przy tym zauważyć, że błędy nie rozkładają się na mapie równomiernie. Tereny płaskie lub gęściej zasiedlone zwykle są dokładniej zobrazowane na starych mapach niż górskie tereny leśne.

## Obliczenia i testowania macierzy transformacji

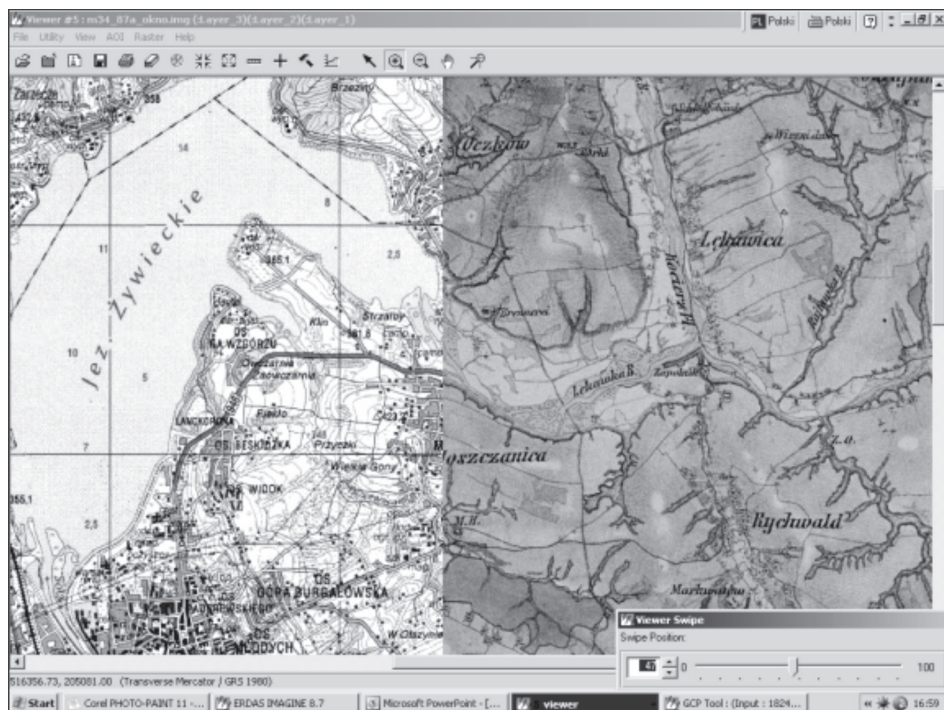
Do wykonania transformacji współrzędnych pliku źródłowego na układ współrzędnych map stosuje się równania wielomianowe (Erdas Field Guide 1998). Stopień transformacji to stopień użytego do transformacji wielomianu (określony przez najwyższą potęgę użytą w wielomianie). Macierz transformacji obliczana jest na podstawie punktów GCP. Jest ona złożona ze współczynników wchodzących do równań wielomianowych, które służą do przeliczenia współrzędnych. Odległość między współczynnikiem odniesienia punktu GCP, a krzywą (opisaną przez wielomian) określana jest jako błąd średni czyli RMS. Wielkość błędu obliczana jest za pomocą równania odległości, RMS (średni kwadratowy) =  $\sqrt{(x_r - x_i)^2 + (y_r - y_i)^2}$  i oznacza różnicę między wymaganymi współrzędnymi dla danego punktu GCP, a aktualnymi jego współrzędnymi po transformacji. W programie *Erdas Imagine* możliwe jest wykonanie transformacji od pierwszego do n-tego stopnia, choć zwykle stosuje się transformacje 1-go i 2-go stopnia. Wyższy stopień transformacji, może dawać w konsekwencji złożonych obliczeń, mniej regularne i przewidywalne wyniki.

Transformacja pierwszego stopnia jest transformacją liniową, umożliwiającą zmianę położenia, skali, skrętu i obrotu. Transformacje drugiego stopnia lub stopni wyższych są transformacjami nieliniowymi, które w uproszczeniu można potraktować jako „rozciąganie gumy”. Transformacje te są stosowane do przeliczania współrzędnych sferycznych, a także do opracowania skrzyżnych zdjęć lotniczych i zobrazowań radarowych. W prezentowanej pracy wykonane były transformacje 1-go i 2-go stopnia. Zaletą transformacji 1-go stopnia jest równomierne rozłożenie błędu transformacji na całej powierzchni mapy, a wadą większy błąd transformacji w porównaniu z funkcjami nieliniowymi. Zaletą transformacji 2-go stopnia jest większe dopasowanie historycznych map do współczesnego obrazu, mniejszy błąd RMS, a wadą nierównomierne rozłożenie błędu transformacji. Do map archiwalnych najlepiej zastosować transformację liniową i po jej ocenie, zdecydować o powtórnej transformacji, tym razem już 2-go stopnia. Opcja równoczesnego otwierania i nakładania map archiwalnej i mapy odniesienia (*swipe*) pozwala na natychmiastową korektę otrzymanych wyników i podjęcie właściwej decyzji (ryc. 1).

## Utworzenie pliku z informacjami o nowych współrzędnych

Ostatnim etapem procesu rektyfikacji jest utworzenie pliku wyjściowego. Proces ten polega na obliczeniu nowych wartości pliku danych dla pliku wyjściowego. W programie *Erdas Imagine* przeprowadzanie dokonywane jest następującymi metodami:

- najbliższego sąsiedztwa (*nearest neighbour*) gdy nowej wartości piksela wyjściowego przypisywana jest wartość piksela obliczonego na podstawie wartości piksela położonego najbliżej



Ryc. 1. Okolice Żywca na fragmencie zretryfikowanej mapy *Oryginaufnahme von Galizien und Bukowina* z 1861 r. w oparciu o mapę topograficzną w układzie 1992

- interpolacji bilinearnej (*bilinear interpolation*) gdy nowej wartości piksela wyjściowego przypisywana jest wartość piksela obliczonego (za pomocą funkcji bilinearnej) na podstawie wartości pliku danych z okna o wymiarach 2 x 2 piksele
- splotu sześciennego (*cubic convolution*) gdy nowej wartości piksela wyjściowego przypisywana jest wartość piksela obliczonego (za pomocą funkcji sześciennnej) na podstawie wartości pliku danych z okna o wymiarach 4 x 4 piksele.

W prezentowanej pracy proces przepróbkowania (*resampling*) został przeprowadzony metodą najbliższego sąsiedztwa (*nearest neighbour*). Zaletą tej metody jest przeniesienie wartości danych pierwotnych bez ich uśredniania, co powoduje, że nadaje się do stosowania przed klasyfikacją. Jest to tym ważniejsze, że historyczne mapy stosuje się do rozróżniania rodzajów użytków, a także lokalizuje się granice obrysów, stąd istotnym jest by w wyniku transformacji danych tych nie utracić. Pomimo, że przy zastosowaniu do liniowych obiektów (drogi, strumienie) pojawiają się przesunięcia i przerwy, metoda ta, spośród wszystkich trzech metod jest najwłaściwszą i najszybszą w użyciu. Czas i stopień skomplikowania operacji nie jest tu bez znaczenia, ponieważ w przypadku map historycznych pochodzących z różnych okresów, dokonujemy analizy setek arkuszy map, o wielkościach kilkudziesięciu MB. Pozostałe metody, choć bardziej dokładne, dają efekt

filtracji podczas której krawędzie są wygładzane, a niektóre wartości danych mogą być zmieniane lub tracone, stąd nie są polecane do przeróbkowywania archiwalnych map.

## 4. Podsumowanie

Geomorfologiczne podejście do rektyfikacji historycznych map pozwala na właściwą lokalizację punktów GCP, dobieranych zarówno spośród elementów rzeźby, jak i form antropogenicznych. Średni błąd transformacji nie przekracza 80 m dla mapy XVIII-wiecznej i 30 m dla mapy XIX-wiecznej. Rektyfikację przeprowadza się w oparciu o transformację według funkcji 1-go lub 2-go stopnia. W czasie rektyfikacji raster wyjściowy tworzony jest poprzez przepróbkowanie metodą najbliższego sąsiedztwa. Niewłaściwy dobór punktów GCP, który nie uwzględnia naturalnej ewolucji rzeźby, powoduje, że otrzymane po rektyfikacji mapy cechują lokalnie duże zniekształcenia, uniemożliwiając dalszą morfomeryczną i geograficzną analizę map.

## LITERATURA

- Erdaś Field Guide, 1998, *Przewodnik geoinformatyczny*, Geosystems Polska, Warszawa.
- Pietrzak M., Siwek J., 2000, *Wykorzystanie map historycznych przetworzonych przy użyciu GIS do oceny zmian użytkowania ziemi na Pogórzu Wiśnickim*, [w:] W. Chełmicki (red.), *Przemiany środowiska na Pogórzu Karpackim*, 1, IGiGP UJ, Kraków.
- Plit J., 1990, *Metoda zasięgów w analizie historycznych przemian środowiska przyrodniczego*, *Przegl. Geogr.*, 62.
- Skelton R.A., 1977, *Badanie i zbieranie map. Przegląd historyczny*, *Przegl. Zagr. Lit. Geogr.*, 4.
- Widacki W., 1997, *Wprowadzenie do systemów informacji geograficznej*, IG UJ, Kraków.

Małgorzata Pietrzak  
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej  
Uniwersytet Jagielloński  
ul. Gronostajowa 7  
30-387 Kraków